



Analyse d'un navire à passagers avec une méthode de décomposition de domaine à plusieurs échelles

Ahmad Mobasher Amini, David Dureisseix, Patrice Cartraud, Natacha Buannic

► To cite this version:

Ahmad Mobasher Amini, David Dureisseix, Patrice Cartraud, Natacha Buannic. Analyse d'un navire à passagers avec une méthode de décomposition de domaine à plusieurs échelles. 8e Colloque National en Calcul des Structures, May 2007, Giens, France. pp.1-6. hal-00322481

HAL Id: hal-00322481

<https://hal.science/hal-00322481>

Submitted on 25 Aug 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives| 4.0 International License

Analyse d'un navire à passagers avec une méthode de décomposition de domaine à plusieurs échelles

A. Mobasher Amini* — **D. Dureisseix[†]** — **P. Cartraud*** — **N. Buannic[‡]**

* *GeM, Ecole Centrale de Nantes- CNRS UMR 6183, 1 rue de la Noë, 44321 Nantes cedex 3, France* ahmad.mobasher-amini@ec-nantes.fr — Patrice.cartraud@ec-nantes.fr

[†] *LMGC, Université Montpellier 2- CNRS UMR 5508 CC048, Place E. Bataillon, 34095 Montpellier cedex 5, France* - David.Dureisseix@lmgc.univ-montp2.fr

[‡] *Principia Marine, 1, rue de la Noë, BP 22112 - 44321 Nantes cedex 3, France* natacha.buannic@principia.fr

RÉSUMÉ. Dans cet article, nous présentons une méthode de décomposition de domaine de type FETI-DP à plusieurs échelles, pour le calcul de structures de grande taille à géométrie complexe, telle qu'un navire à passagers. L'aspect multi-échelle est introduit par la description de sous-domaines à des échelles différentes : microscopique et macroscopique. L'utilisation de sous-domaines macroscopiques soulève le problème de la détermination de leur raideur, et de leur raccord avec les sous-domaines microscopiques. Deux approches différentes sont proposées ici, et illustrées à travers un exemple d'application.

ABSTRACT. In this paper, we present a multi scale domain decomposition method, based on FETI-DP, for structural analysis of large scale problem and complex geometry, such as a passenger ship. The multi-scale aspect is introduced by the description of sub domain with microscopic and macroscopic scales. Using macroscopic sub domain raises the problem of the determination of their stiffness, and their connection with the microscopic neighboring sub domains. Two different approaches are proposed here, and are illustrated on an example of application.

MOTS-CLÉS : Méthode de décomposition de domaine (FETI-DP), Multi-échelle, Navire à passager.

KEYWORDS: Domain decomposition method (FETI-DP), Multi-scale, Passenger ship.

1. Introduction

Une méthode de décomposition de domaine à plusieurs échelles est proposée pour le calcul d'une structure complexe telle qu'un navire à passagers. Cette méthode distingue les domaines décrits de façon macroscopique ou homogénéisée et les domaines microscopiques (maillés avec plusieurs éléments finis). Le calcul d'ensemble de la structure peut ainsi être optimisé, en limitant la description microscopique dans les zones d'intérêt. Des stratégies de calcul avec des zones microscopiques et macroscopiques ont déjà été proposées dans la littérature, s'appuyant ou non sur des méthodes de décomposition de domaine, cf. (Guidault, 2005) par exemple.

Après avoir exposé les grands principes de l'approche, un exemple d'application est présenté.

2. Description générale de la méthode

2.1. Méthode FETI-DP

Les navires à passagers sont des structures de grande taille, et se caractérisent également par des détails structuraux de petites dimensions. Par ailleurs, ces structures présentent une architecture avec un découpage naturel en sous-structures, délimitées par les intersections entre la coque, les ponts, les cloisons et les raidisseurs primaires. Une méthode de décomposition de domaine est donc bien adaptée à l'analyse d'un navire à passagers (figure 1). Ces méthodes sont en effet un outil efficace et flexible pour le calcul de structure (Le Tallec, 1994), (Farhat *et al.*, 1994). Parmi les méthodes existantes de décomposition de domaine, la version FETI-DP a été retenue (Farhat *et al.*, 2000) et (Farhat *et al.*, 2001).

En effet, cette méthode utilise les noeuds *coarse* de la sous structuration (ici, les coins des panneaux que sont les sous domaines) comme support des degrés de liberté du problème grossier (ou macroscopique). Or les même noeuds correspondent à une discrétisation existante utilisée dans l'industrie (dite à grand échelle) du navire à passagers qu'il convient de conserver lors des ré-analyses à échelle plus fine.

La mise en oeuvre de cette méthode est schématisée figure 1. Une application en a été présentée dans (Mobasher-Amini *et al.*, 2006).

2.2. Approche multi-échelle

Avec une méthode FETI-DP classique, chaque sous-domaine est maillé finement. Les sous-domaines sont raccordés entre eux de façon forte aux noeuds sommets, et de façon faible aux interfaces. Une méthode de résolution itérative est utilisée, jusqu'à obtenir à un niveau de précision donnée, l'équilibre des efforts et la continuité des déplacements aux interfaces. Si cette méthode est appliquée pour un navire à passagers, tous les sous-domaines sont maillés finement. Ceci n'est pas pertinent car les zones

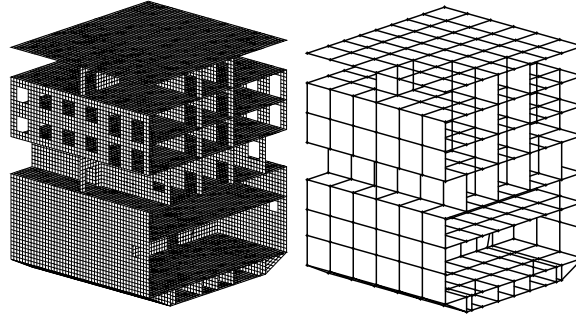


Figure 1. *Discretisation fine d'un morceau de bateau et maillage grossier correspondant*

siège de phénomènes locaux sont peu nombreuses. Il donc intéressant, en terme de temps de calcul, de développer une méthode dans laquelle les sous-domaines avec un maillage fin sont limités à ces zones. Le reste de la structure est alors décrit par des sous-domaines grossiers (ou macroscopiques).

Le développement d'une méthode de décomposition de domaine à plusieurs échelles soulève principalement deux questions. La première concerne la détermination de la raideur utilisée dans les domaines macroscopiques. La seconde est relative au problème du raccord entre les sous domaines microscopiques et macroscopiques.

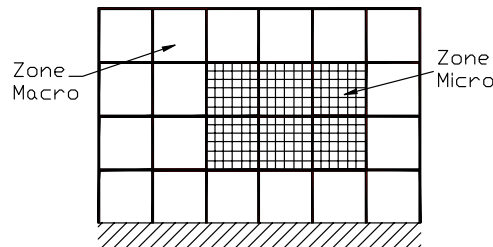


Figure 2. *Zones macro et micro*

2.2.1. Raccord entre sous-domaines micro et macro

Lorsqu'une interface de type micro-macro est considérée, le problème s'apparente à un raccord de maillage incompatibles. En effet, l'interface, en tant que frontière du sous-domaine micro comprend les noeuds *coarse* et des noeuds d'interface. Alors que du côté macro, seuls les noeuds *coarse* existent, ceux-ci étant communs avec ceux du sous-domaine micro voisin. Deux types de raccord sont proposés ici, associés respectivement à une hypothèse sur les déplacements ou les efforts au niveau de

l'interface. Pour simplifier la présentation, seul le cas bidimensionnel est considéré (problème de membrane). L'extension aux plaques est en cours.

Raccord cinématique

D'une façon générale, le déplacement sur le bord d'un sous domaine peut être exprimé par $U_b^s = U_b^{s^M} + U_b^{s^m}$. Où $U_b^{s^M}$ et $U_b^{s^m}$ sont respectivement les parties macro et micro. Dans le cas du raccord cinématique, le déplacement micro est supposé nul sur le bord, c'est-à-dire $U_b^{s^m} = 0$, ce qui conduit à :

$$U_b^s = U_b^{s^M} \quad [1]$$

D'autre part, la partie macro du déplacement est définie à partir de l'interpolation des déplacements des noeuds *coarse* situés aux extrémité de l'interface. On a donc $U_b^s = U_b^{s^M} = C_c^s U_c^s$. La matrice C_c^s stocke les valeurs des fonctions d'interpolation choisies aux noeuds fins. On peut choisir simplement les fonctions de forme classiques éléments finis.

Raccord statique

Dans le cas du raccord statique, la force micro est supposée nulle sur le bord. Le champ d'efforts sur le bord peut en effet s'écrire $F_b^s = F_b^{s^M} + F_b^{s^m}$. Une fois dualisée, la condition de raccord statique se traduit par une contrainte cinématique globale par interface de jonction sous la forme :

$$\forall U_r^{s^{M*}}, \int_{\Gamma} U_r^{s^m} \cdot U_r^{s^{M*}} d\Gamma = 0 \quad [2]$$

$$\forall U_c^{s*}, \int_{\Gamma} [(U_b^s - C_c^s U_c^s)] \cdot C_c^s U_c^{s*} d\Gamma = 0 \quad [3]$$

Une fois discrétisée, la relation linéaire $C_c^{s^T} M C_c^s U_c^s = C_c^{s^T} M U_b^s$ est obtenue, où M est du type du matrice de masse sur Γ (intégrale de produit croisé des fonctions de forme).

Au bilan, sur une interface de jonction entre un sous domaine macro et un sous domaine micro, la continuité du déplacement aux noeuds *coarse* est assurée à chaque itération par la méthode FETI-DP. Le raccord précédent (cinématique ou statique) est corrigé itérativement en utilisant des multiplicateurs de Lagrange additionnels sur cette jonction, qui s'ajoutent à ceux, plus traditionnels, employés sur les interfaces classiques (entre deux sous domaines micro).

2.2.2. Détermination de la raideur macro

Lorsqu'un sous-domaine est décrit à l'échelle macroscopique, il faut lui associer une raideur. Celle-ci est déterminée dans une étape préliminaire à partir d'un maillage fin. En pratique, les noeuds internes sont condensés statiquement. Pour les noeuds sur le bord, les hypothèses précédentes de raccord sont reprises. De cette façon, il est possible de se ramener à une raideur définie uniquement sur les noeuds *coarse*. Les raideurs homogénéisées sont donc de type cinématique ou statique.

3. Application à un exemple

Pour tester la méthode, des premiers calculs pour des cas de charge élémentaires sur des structures homogènes ont été réalisés. Tout d'abord, la détermination de la raideur macro a été validée en travaillant sur un seul sous-domaine. Par la suite, des tests avec des sous-domaines micro et macro ont été effectués. Ils ont permis de vérifier que dans des situations simples, la méthode permet de retrouver la solution exacte (cas cinématique) ou une très bonne approximation de celle-ci (cas statique).

Ci-après est considéré l'étude pour des sollicitations de type membrane d'une structure comportant un trou en son centre, cf. figure 3. Cette structure est sollicitée en traction. Une solution de référence est obtenue en utilisant une méthode FETI-DP classique : tous les sous-domaines sont maillés finement. Par la suite, la méthode à deux échelles décrite ici est appliquée, en ne gardant comme sous-domaine micro que le sous-domaine placé au centre de la structure et comportant le trou. Les deux versions de cette méthode sont étudiées : statique et cinématique, étant entendu que des hypothèses de même nature sont faites pour le raccord micro-macro et le calcul de la raideur macro.

La solution calculée avec la méthode à deux échelles est comparée à la solution de

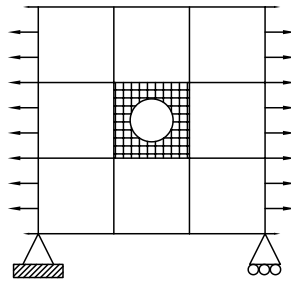


Figure 3. *Cas tes en 2D cisaillement pur*

référence. Le post-traitement est effectué en calculant l'énergie de la différence des deux déplacements. Les résultats sont présentés figure 4 . Il apparaît que les résultats sont plus précis avec la méthode statique : l'erreur étant localisée au voisinage de la zone de raccord, mais diminuant rapidement lorsqu'on s'en éloigne. Ceci peut être rapproché du principe de Saint-Venant, ce qui rejoint des observations faites dans (Guidault, 2005). Au contraire, pour le raccord cinématique, sur cet exemple, l'erreur est plus faible au voisinage de l'interface, mais augmente lorsqu'on s'en éloigne.

4. Conclusion

Grâce à l'approche présentée dans ce travail, il est possible de choisir de façon flexible les zones décrites à l'échelle micro, et ainsi optimiser le temps de calcul de la structure. Des travaux sont en cours pour étendre cette approche à des problèmes

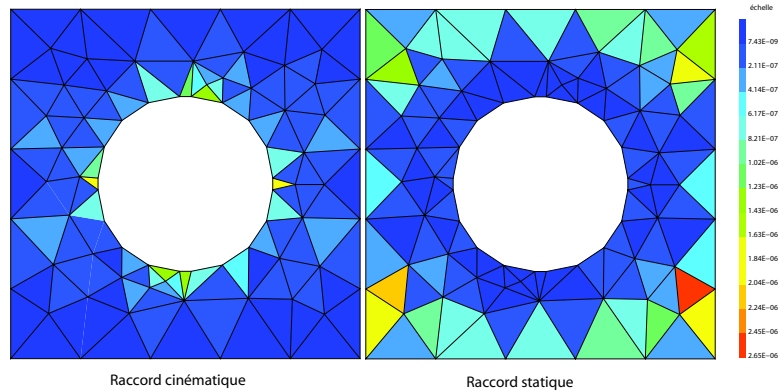


Figure 4. Energie de la différence entre les solutions multi-échelle et de référence

avec des sollicitations de flexion.

5. Bibliographie

- Farhat C., Lesoinne M., Pierson K., « A scalable dual-primal domain decomposition method », *Numerical Linear Algebra with Applications*, vol. 7, n° 8, p. 687-714, 2000.
- Farhat C., Lesoinne M., Tallec P. L., Pierson K., Rixen D., « FETI-DP : a dual-primal unified FETI method - part I : a faster alternative to the two-level FETI method », *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, vol. 50, n° 7, p. 1523-1544, 2001.
- Farhat C., Roux F.-X., « A method of finite element tearing and interconnecting and its parallel solution algorithm », *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, vol. 32, n° 7, p. 1205-1227, 1991.
- Farhat C., Roux F.-X., « Implicit parallel processing in structural mechanics », *Computational Mechanics Advances*, vol. 1, n° 2, p. 1-120, 1994.
- Guidault P. A., Une stratégie de calcul pour les structures fissurées : analyse locale-globale et approche multi échelle pour la fissuration, PhD thesis, 2005.
- Ladevèze P., Dureisseix D., « A micro/macro approach for parallel computing of heterogeneous structures », *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, vol. 1, p. 18-28, 2000.
- Le Tallec P., « Domain decomposition methods in computational mechanics », *Computational Mechanics Advances*, vol. 1, n° 2, p. 121-220, 1994.
- Mobasher-Amini A., Dureisseix D., Cartraud P., Buannic N., « A micro-macro strategy for ship structural analysis with FETI-DP method », *III European Conference on Computational Mechanics Solids, Structures and Coupled Problems in Engineering*, Lisbon, Portugal, vol. 5-9 June, p. 233-244, 2006.